



Einführung in die Astronomie



AZM

Teil 1 – Geschichte der Astronomie und Entwicklung unserer Vorstellung von unserer Stellung im Universum

- Die Wurzeln der Astronomie
- Unser Platz im Kosmos
- Moderne Astronomie und Raumfahrt

Teil 2 – Das Sonnensystem

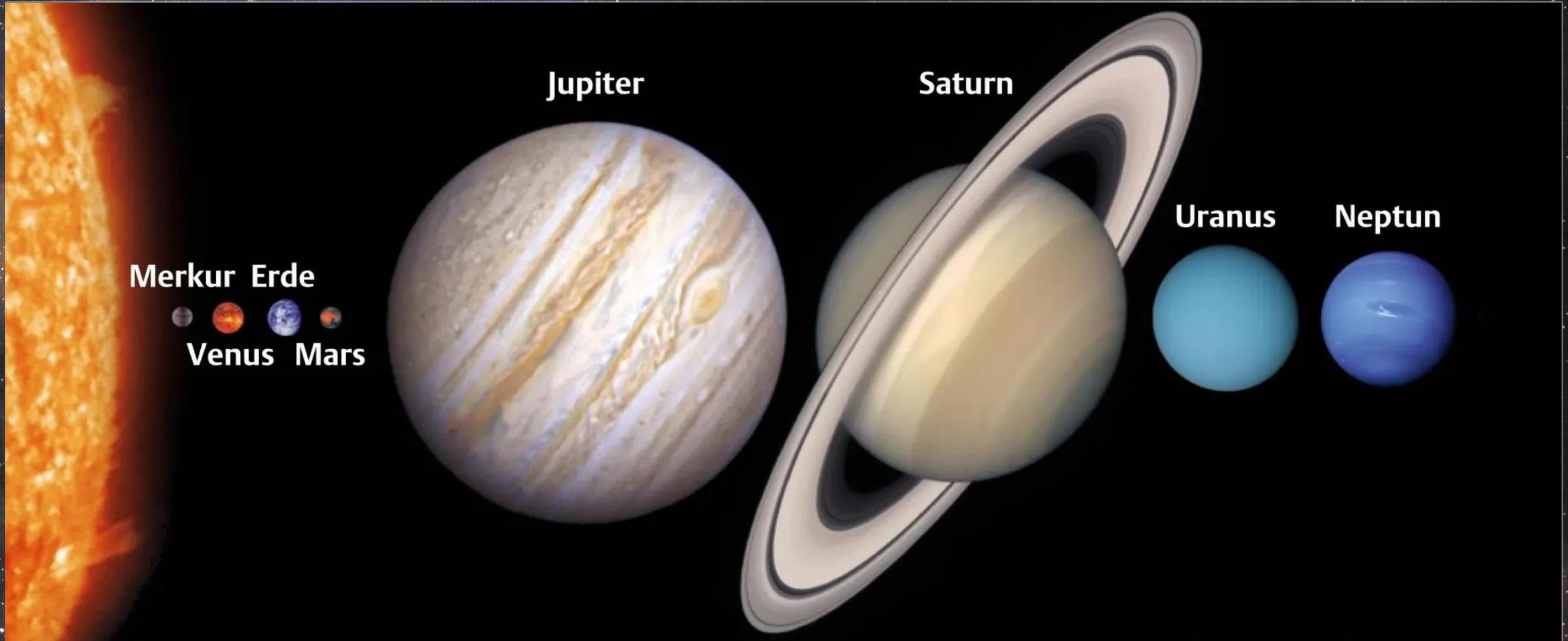
- Entstehung von Planetensystemen
- Aufbau unseres Sonnensystems
- Die Planeten und ihre Monde
- Der Erdmond
- Leben auf anderen Planeten

Teil 3 – Aufbau und Entwicklung der Sterne

- Zustandsgrößen der Sterne
- Entwicklung der Sterne
- Veränderliche Sterne
- Supernovae, Neutronensterne und Schwarze Löcher

Teil 4 – Galaxien und kosmische Zusammenhänge

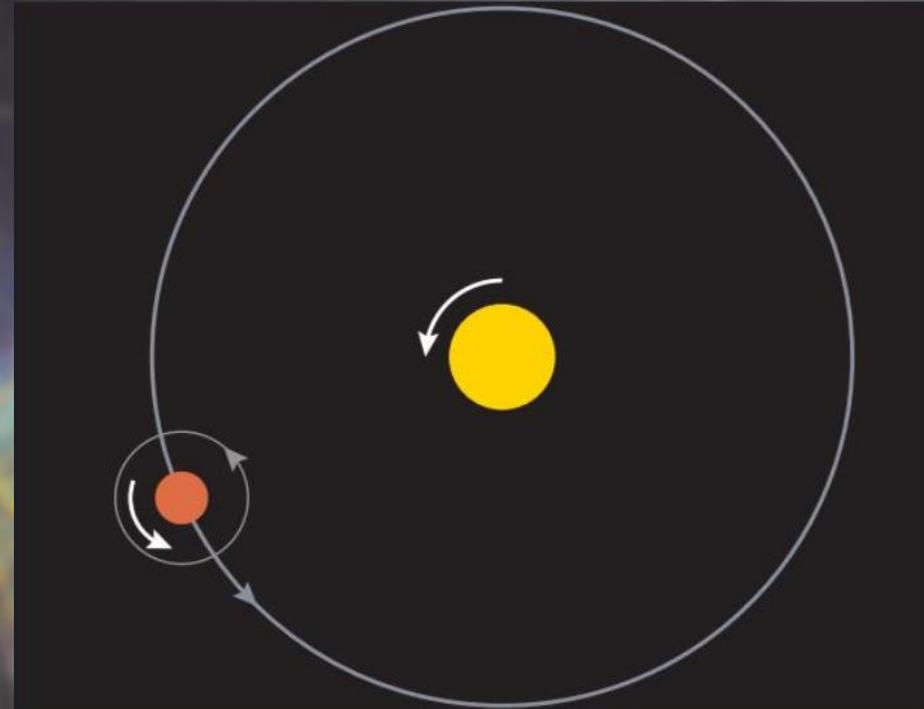
- Unsere Milchstraße
- Sternhaufen, Kugelhaufen und interstellare Materie
- Entwicklung und Klassen von Galaxien
- Die Expansion des Universums



Die Bewegung der Planeten auf ihren Bahnen um die Sonne → [Bahnbewegungen](#)

Die vier wesentlichen Eigenschaften unseres Sonnensystems

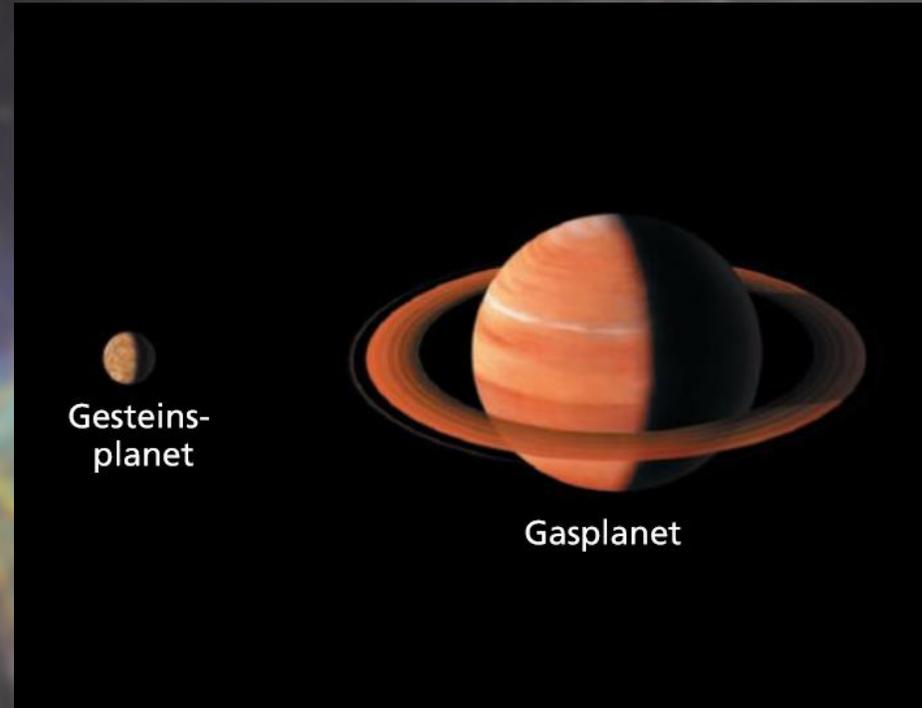
1. Große Körper des Sonnensystems bewegen sich regelmäßig
2. Die acht großen Planeten gehören zwei Hauptgruppen an
3. Schwärme von Asteroiden und Kometen bevölkern das Sonnensystem
4. Es gibt bemerkenswerte Ausnahmen von diesen allgemeinen Regeln



Alle Planeten und die meisten ihrer Satelliten haben annähernd kreisförmige Bahnen, die in dieselbe (prograde) Richtung verlaufen und in nahezu derselben Ebene liegen. Sonne und die meisten Planeten rotieren in der selben Richtung

Die vier wesentlichen Eigenschaften unseres Sonnensystems

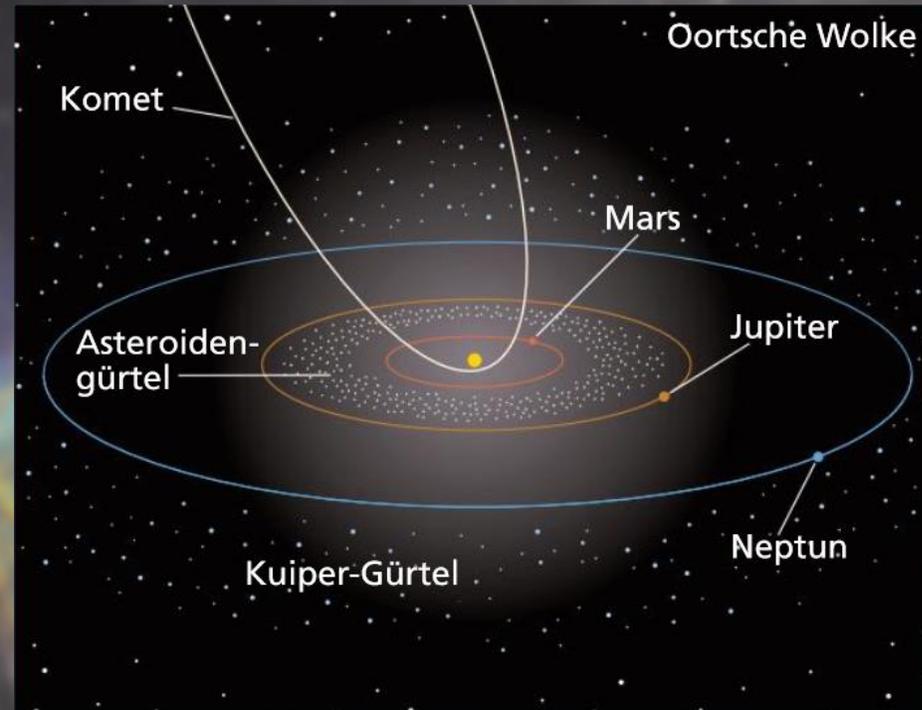
1. Große Körper des Sonnensystems bewegen sich regelmäßig
2. Die acht großen Planeten gehören zwei Hauptgruppen an
3. Schwärme von Asteroiden und Kometen bevölkern das Sonnensystem
4. Es gibt bemerkenswerte Ausnahmen von diesen allgemeinen Regeln



Zwei Hauptgruppen: Kleine, felsige Gesteinsplaneten in Sonnennähe und große, wasserstoffreiche Gasplaneten weiter außen. Die Gasplaneten haben keine feste Oberfläche, besitzen viele Monde und haben Ringe aus Eis- und Gesteinsbrocken.

Die vier wesentlichen Eigenschaften unseres Sonnensystems

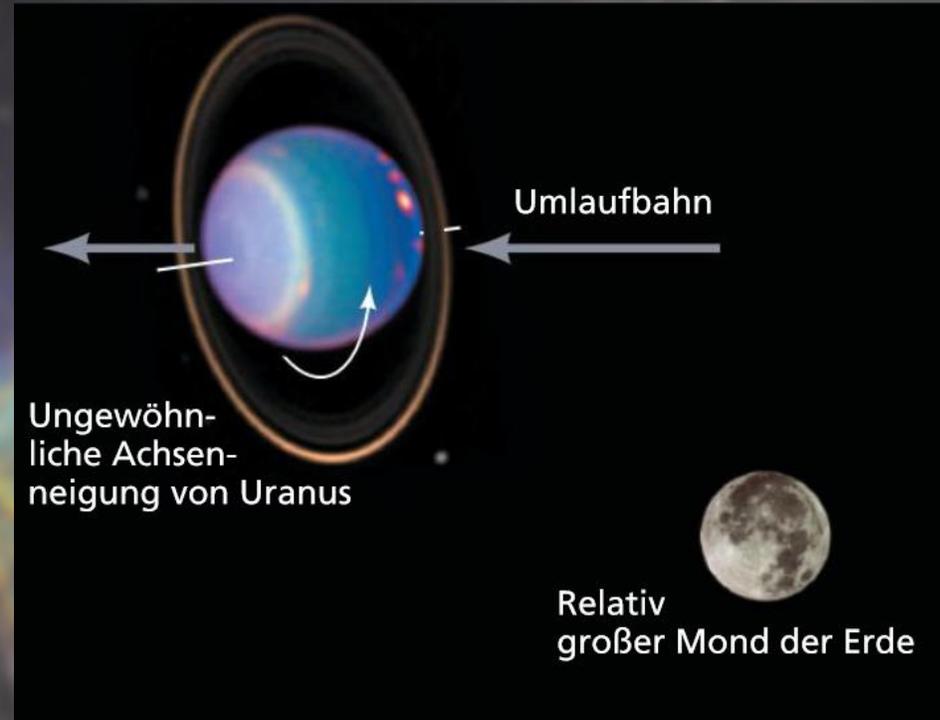
1. Große Körper des Sonnensystems bewegen sich regelmäßig
2. Die acht großen Planeten gehören zwei Hauptgruppen an
3. Schwärme von Asteroiden und Kometen bevölkern das Sonnensystem
4. Es gibt bemerkenswerte Ausnahmen von diesen allgemeinen Regeln



Asteroiden sind im Asteroidengürtel sowie (als TNO's) im Kuiper-Gürtel konzentriert, während Kometen im Kuiper-Gürtel und in der Oortschen Wolke die Außenbereiche des Sonnensystems bevölkern.

Die vier wesentlichen Eigenschaften unseres Sonnensystems

1. Große Körper des Sonnensystems bewegen sich regelmäßig
2. Die acht großen Planeten gehören zwei Hauptgruppen an
3. Schwärme von Asteroiden und Kometen bevölkern das Sonnensystem
4. Es gibt bemerkenswerte Ausnahmen von diesen allgemeinen Regeln



Es gibt Planeten mit ungewöhnlichen Achsenneigungen oder überraschend großen Monden sowie Monde mit ungewöhnlichen Umlaufbahnen.



M 33 – Galaxie im Sternbild Dreieck



M 8 Lagunennebel
Sternbild Schütze

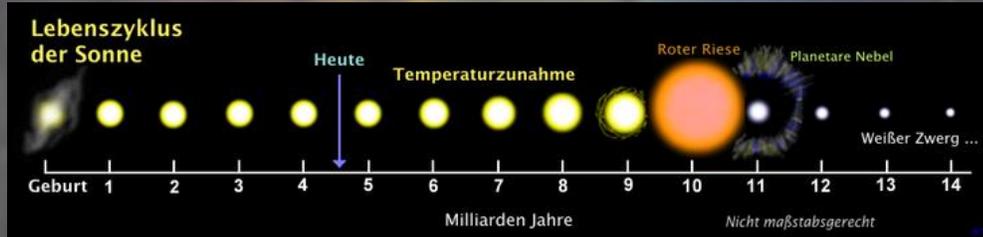
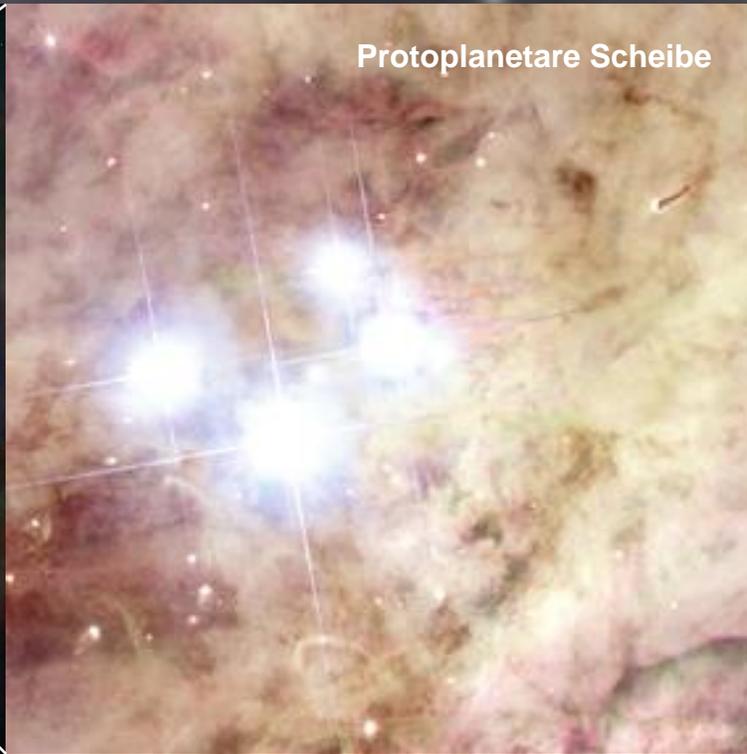
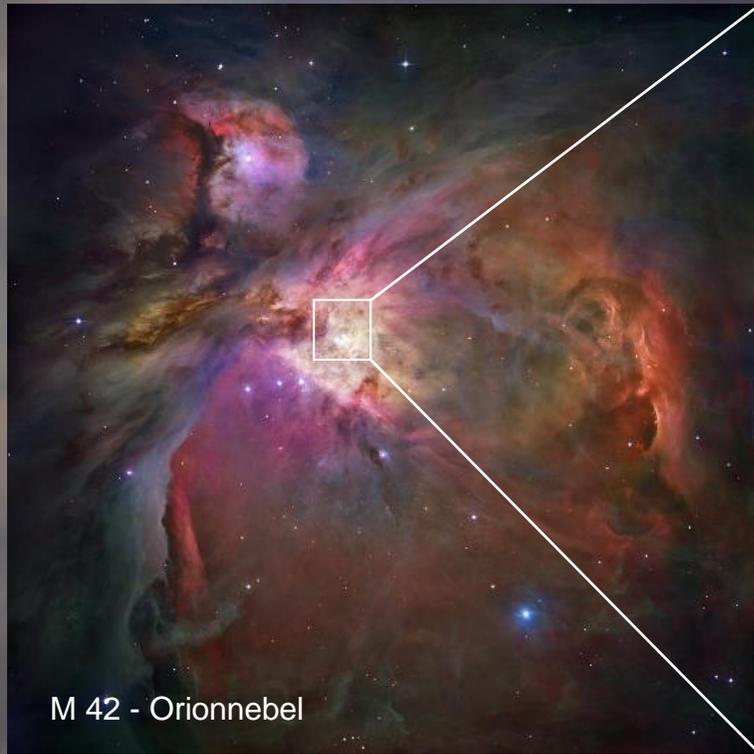


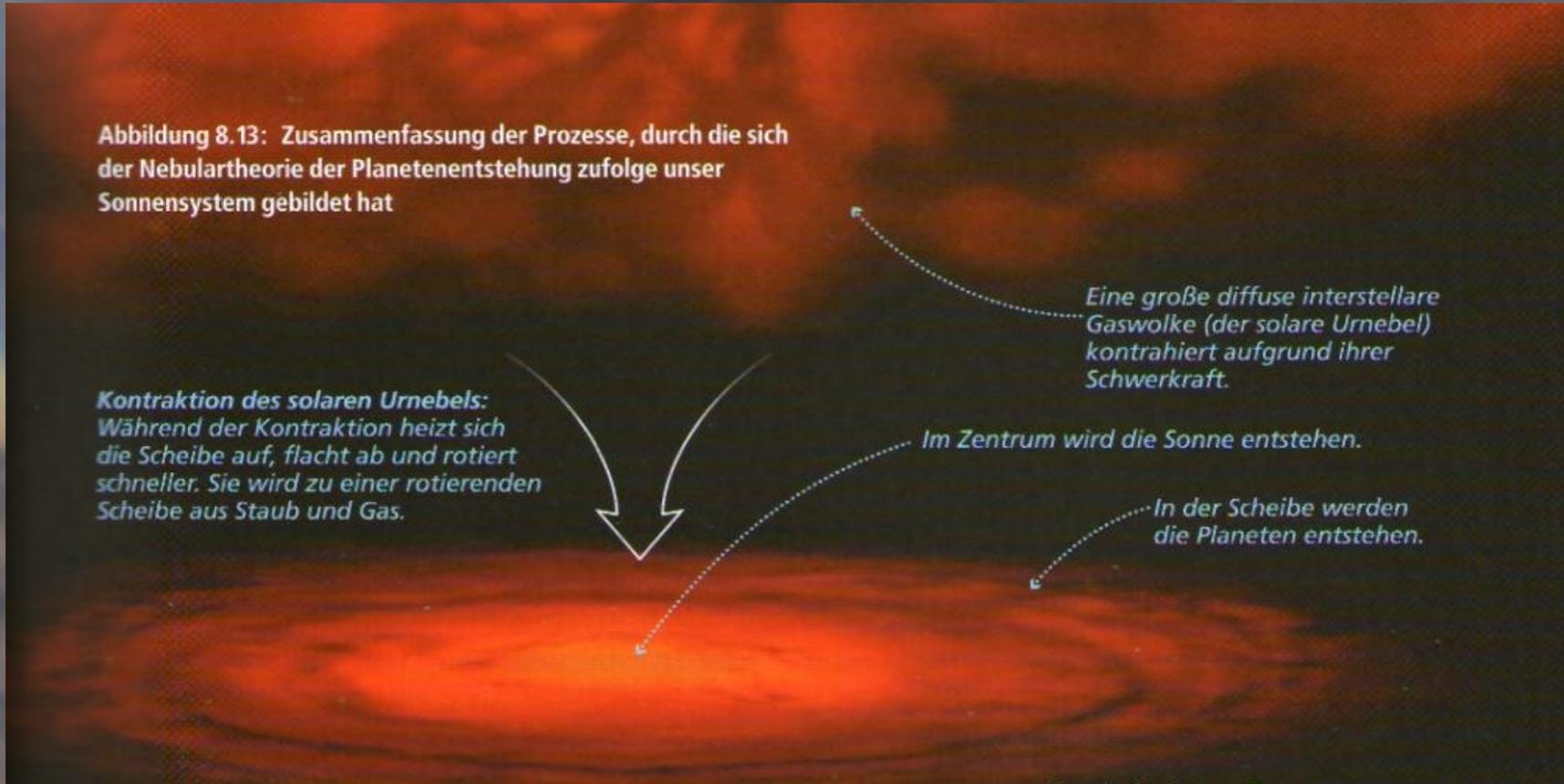
Abbildung 8.13: Zusammenfassung der Prozesse, durch die sich der Nebulartheorie der Planetenentstehung zufolge unser Sonnensystem gebildet hat

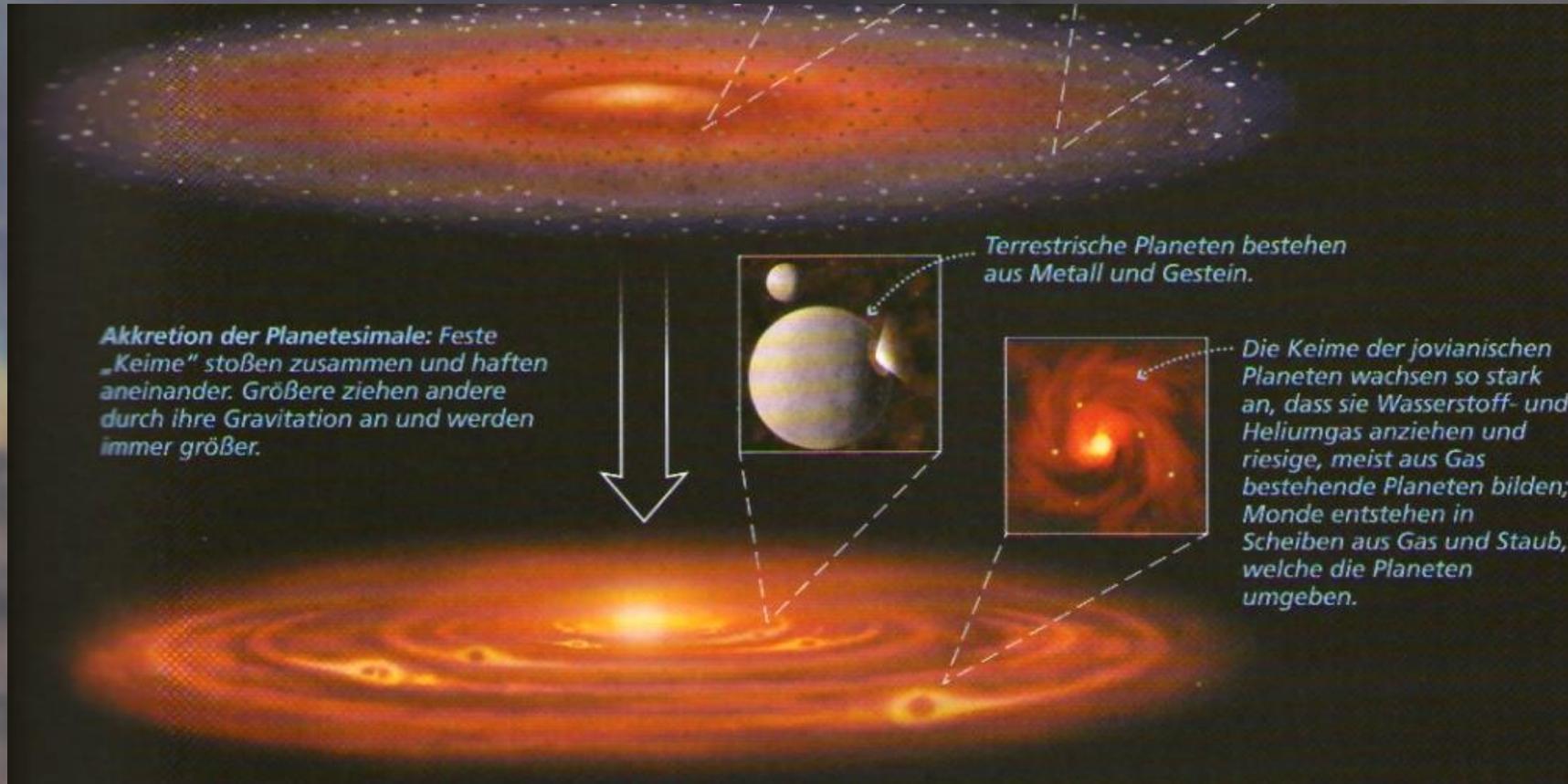
Kontraktion des solaren Urnebels:
Während der Kontraktion heizt sich die Scheibe auf, flacht ab und rotiert schneller. Sie wird zu einer rotierenden Scheibe aus Staub und Gas.

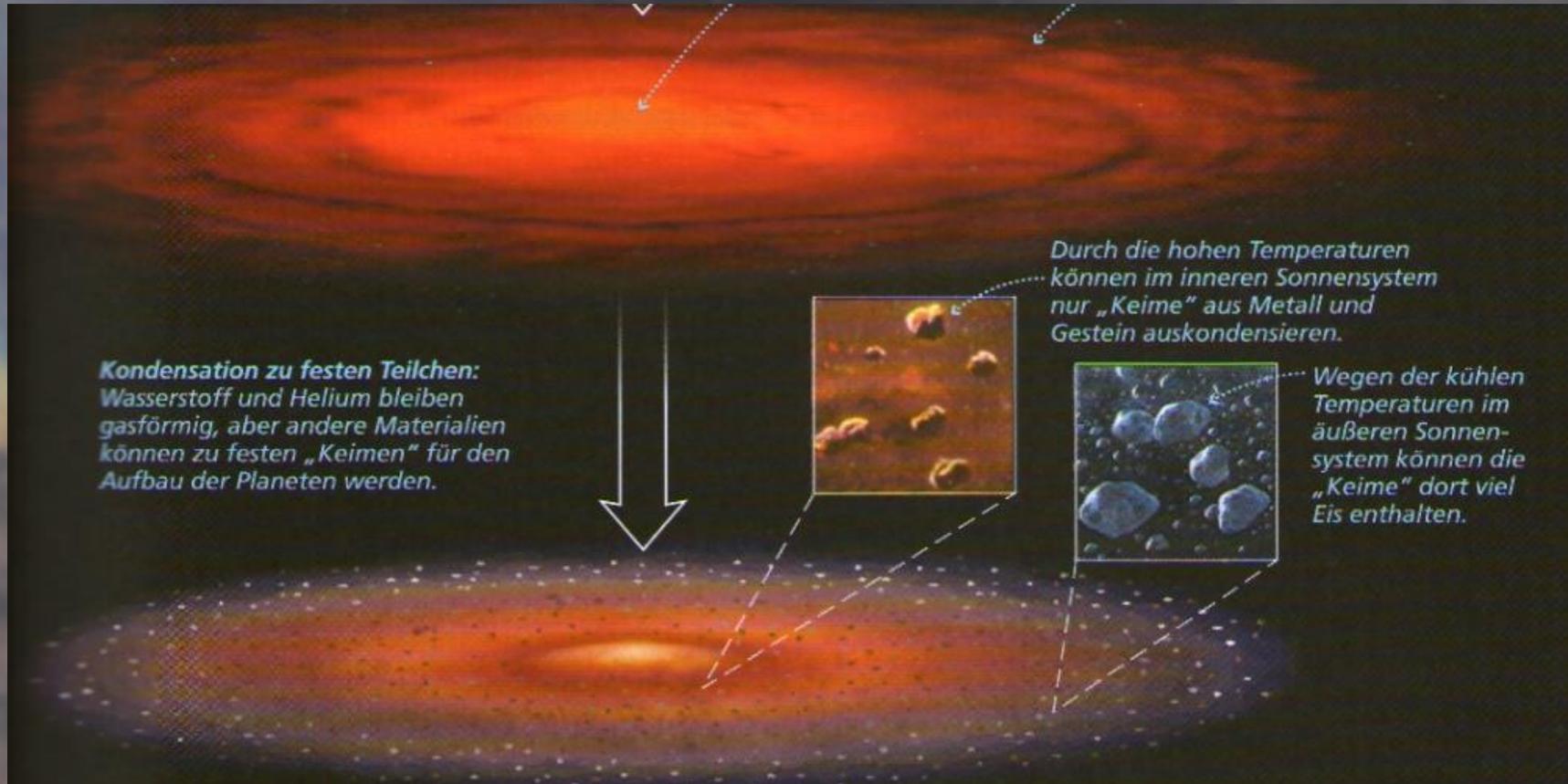
Eine große diffuse interstellare Gaswolke (der solare Urnebel) kontrahiert aufgrund ihrer Schwerkraft.

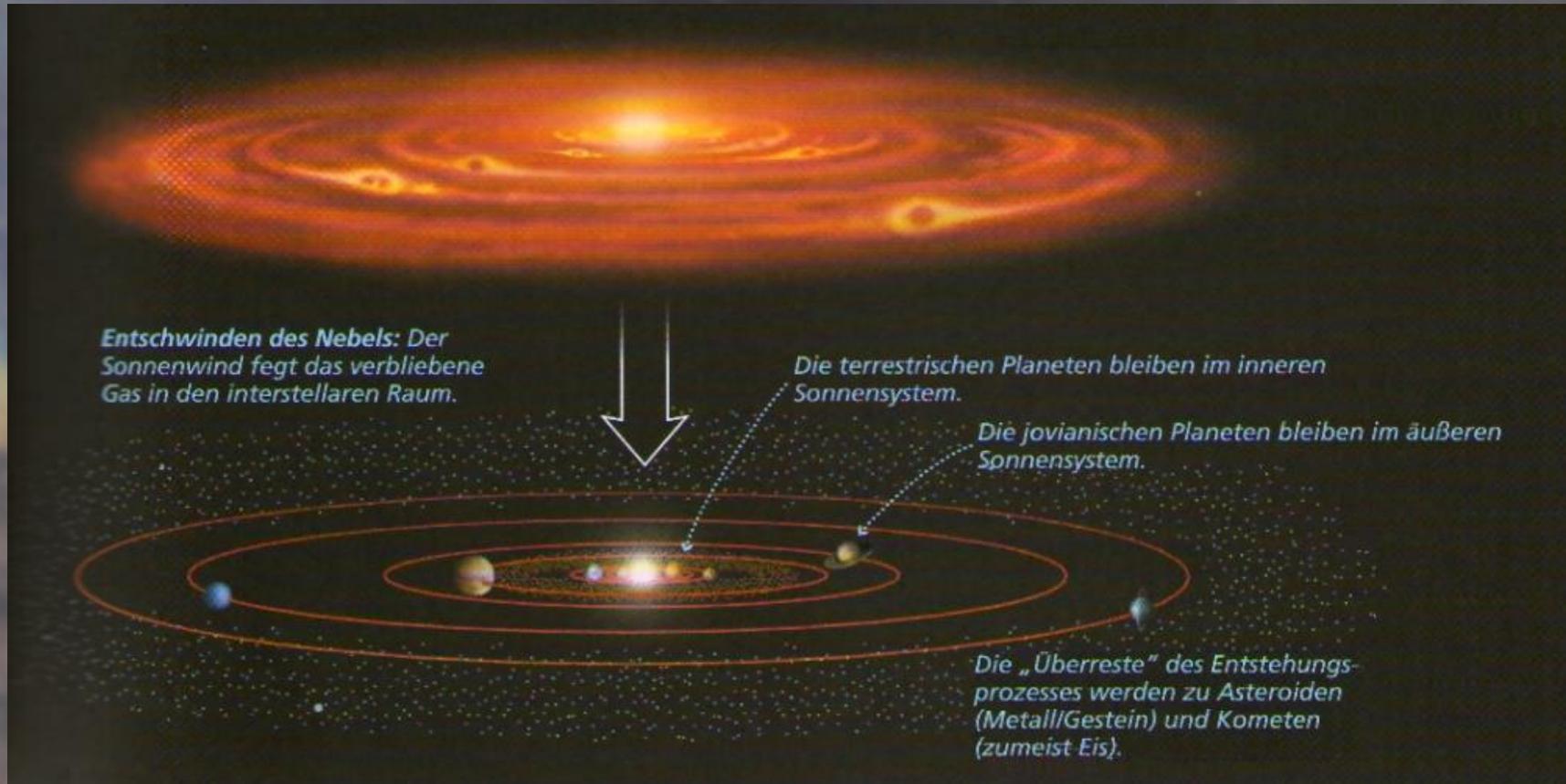
Im Zentrum wird die Sonne entstehen.

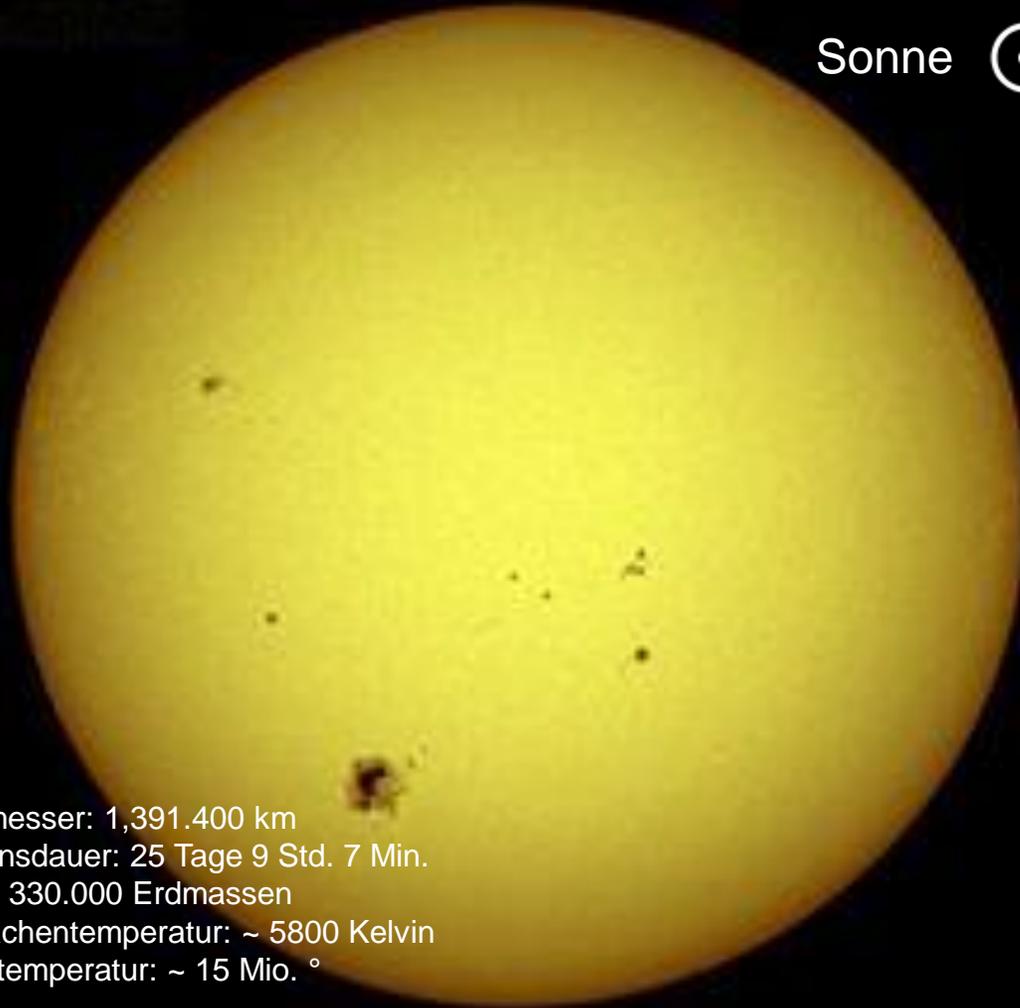
In der Scheibe werden die Planeten entstehen.





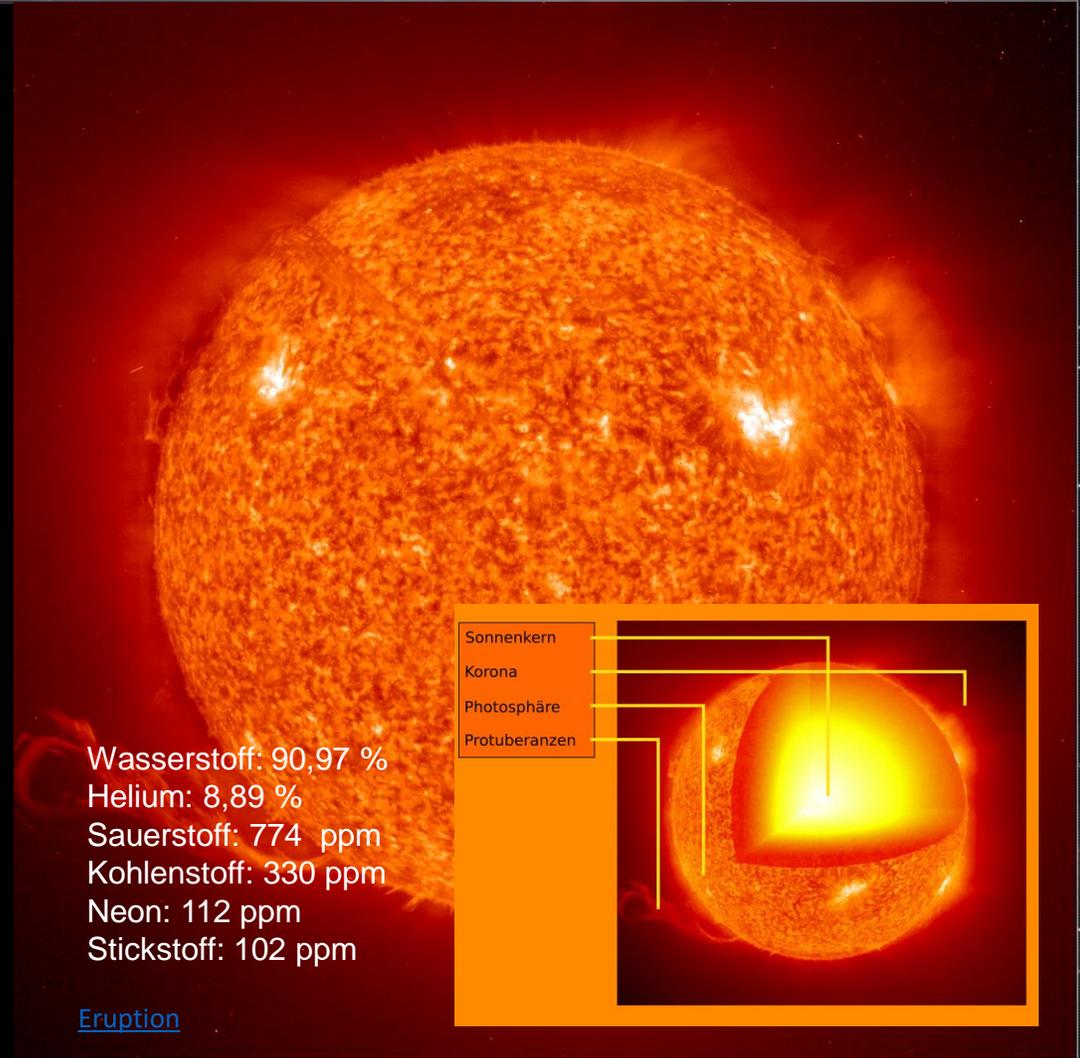






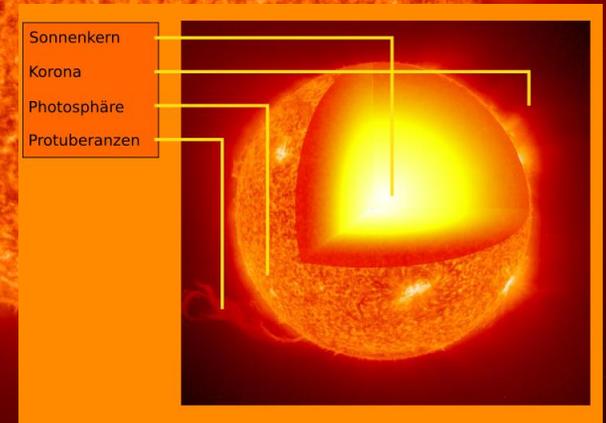
Sonne 

Durchmesser: 1,391.400 km
Rotationsdauer: 25 Tage 9 Std. 7 Min.
Masse: 330.000 Erdmassen
Oberflächentemperatur: ~ 5800 Kelvin
Zentraltemperatur: ~ 15 Mio. °

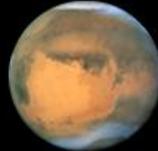


Wasserstoff: 90,97 %
Helium: 8,89 %
Sauerstoff: 774 ppm
Kohlenstoff: 330 ppm
Neon: 112 ppm
Stickstoff: 102 ppm

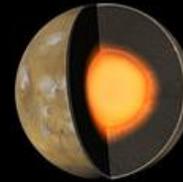
[Eruption](#)



MARS ♂



Durchmesser: 6792 km
 Mars - Sonne: 228 Mio. km
 Umlaufzeit: 687 Tage
 Monde: Phobos, Deimos



Kruste 50 km (Silikate, Oxide, fest)
 Mantel (Silikate, fest)
 Kern (Eisen, Schwefel, flüssig)

ERDE ♂



MOND
 Durchmesser: 3476 km
 Erde - Mond: 384000 km
 Umlaufzeit: 27,32 Tage

Durchmesser: 12756 km
 Erde - Sonne: 149,6 Mio. km
 Umlaufzeit: 365,25 Tage

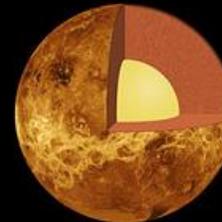


Kruste 35 km (Silikate, Oxide, fest)
 Oberer Mantel 500 km (Silikate, Oxide)
 Unterer Mantel 1500 km (Silikate, Oxide)
 Äußerer Kern (Eisen)
 Innerer Kern 1200 km (Eisen, Nickel)

VENUS ♀



Durchmesser: 12100 km (~0,95x Erde)
 Venus - Sonne: 108 Mio. km
 Umlaufzeit: 225 Tage

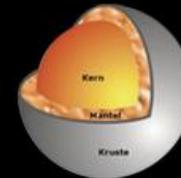


Kruste (Silikate, Oxide, fest)
 Mantel (Silikate, Oxide, zähplastisch)
 Kern (Eisen, Nickel, teilweise flüssig)

MERKUR ♀



Durchmesser: 4878 km (~0,38x Erde)
 Merkur - Sonne: 58 Mio. km
 Umlaufzeit: 88 Tage



JUPITER ♃



Durchmesser: 143000 km (~11,2x Erde)
 Entfernung - Sonne: 778 Mio. km
 Umlaufzeit: 11,86 Jahre
 Hauptmonde:
 Ganymed (5262km), Kallisto (4821km),
 Io (3643 km), Europa (3122km)



Erde

SATURN ♄



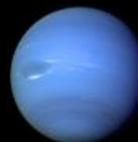
Durchmesser: 121000 km (~9,5x Erde)
 Entfernung - Sonne: 1427 Mio. km
 Umlaufzeit: 29,46 Jahre
 Größter Mond: Titan (5.150 km)

URANUS ♅

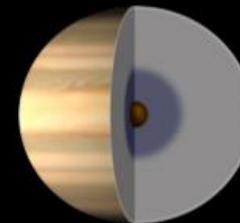


Durchmesser: 51000 km (4x Erde)
 Entfernung - Sonne: 2870 Mio. km
 Umlaufzeit: 84 Jahre
 Größter Mond: Titania (1.578 km)

NEPTUN ♆



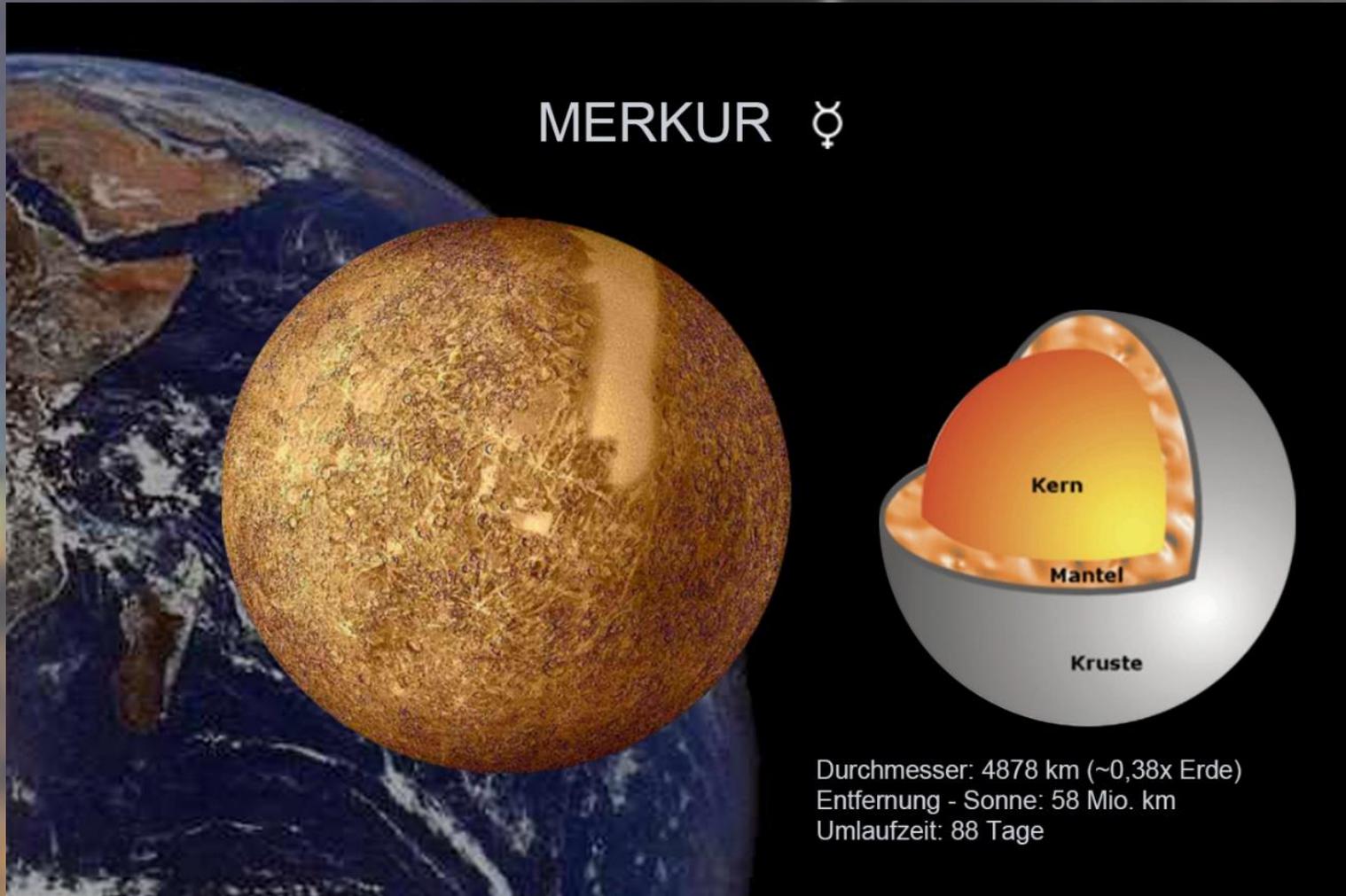
Durchmesser: 49000 km (3,9x Erde)
 Entfernung - Sonne: 4.498 Mio. km
 Umlaufzeit: 165 Jahre
 Größter Mond: Triton (2.707 km)



-  molekularer Wasserstoff
-  metallischer (flüssiger) Wasserstoff
-  Kern aus Gerstein und Eis

~ 90 % Wasserstoff
 ~ 10 % Helium
 ~ 1 % Methan
 ~ 0,03 % Ammoniak

MERKUR ♀



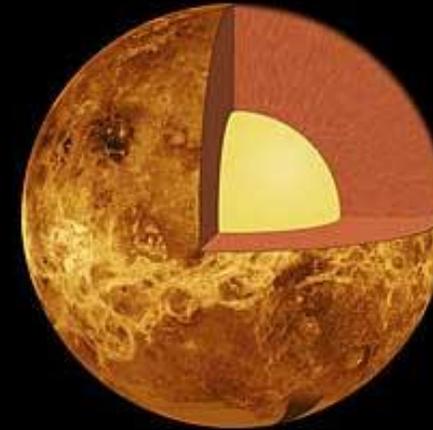
Durchmesser: 4878 km (~0,38x Erde)
Entfernung - Sonne: 58 Mio. km
Umlaufzeit: 88 Tage

Merkur – schnelle Fakten

- Sonnennächster und heißester Planet (-173° bis + 427° C)
- Kleinster Planet (kleiner als Ganymed)
- Rotationsperiode 59 d (2:3 Resonanz)
- Höchste Dichte durch riesigen Eisenkern
- Oberfläche ähnlich dem Erdmond



VENUS ♀



Durchmesser: 12100 km (~0,95x Erde)
Entfernung - Sonne: 108 Mio. km
Umlaufzeit: 225 Tage

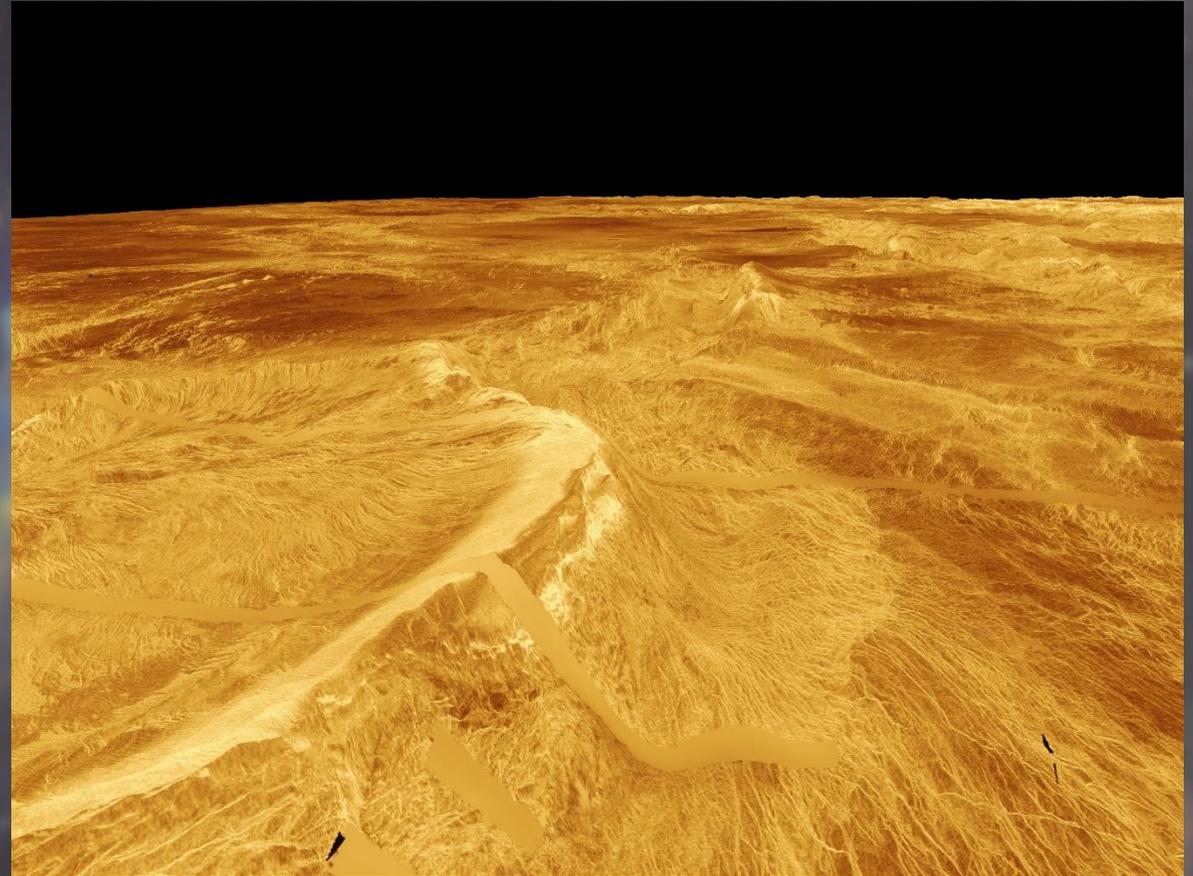
Kruste (Silikate, Oxide, fest)
Mantel (Silikate, Oxide,
zähplastisch)
Kern (Eisen, Nickel,
teilweise flüssig)

Venus – schnelle Fakten

- Morgen- und Abendstern
- Schwesterplanet der Erde (fast gleich groß)
- Dichte und heiße Atmosphäre aus CO₂ (464° C)
- Retrograde Rotation
- Einziger Planet ohne Mond
- Bis in jüngere Zeit vulkanische Tätigkeit



Phasengestalt der Venus



Radarbild der Venusoberfläche

ERDE ♀



Mond
3476 k
384000 km
27,32 Tage



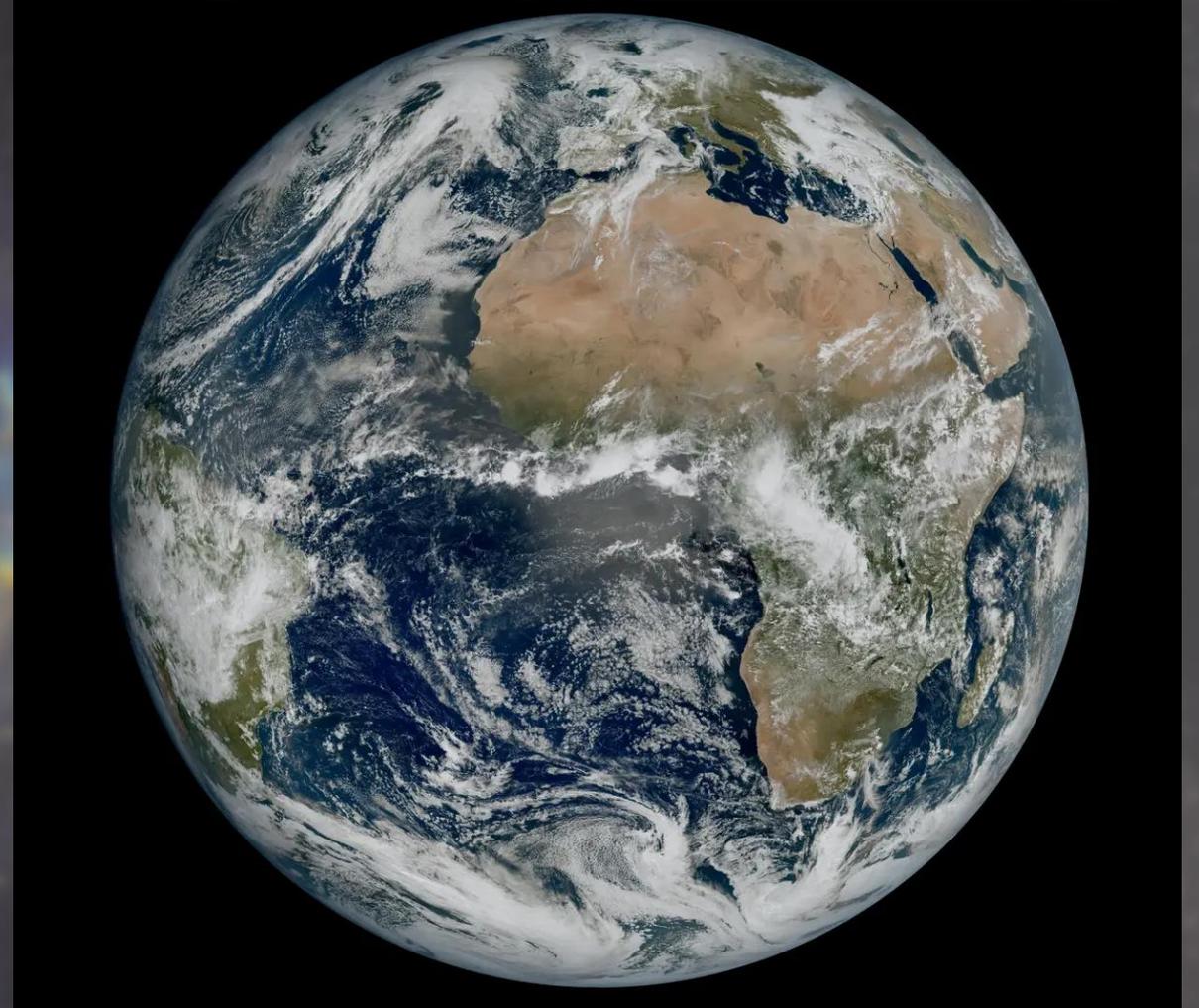
Durchmesser: 12756 km
Entfernung - Sonne: 149,6 Mio. km
Umlaufzeit: 365,25 Tage



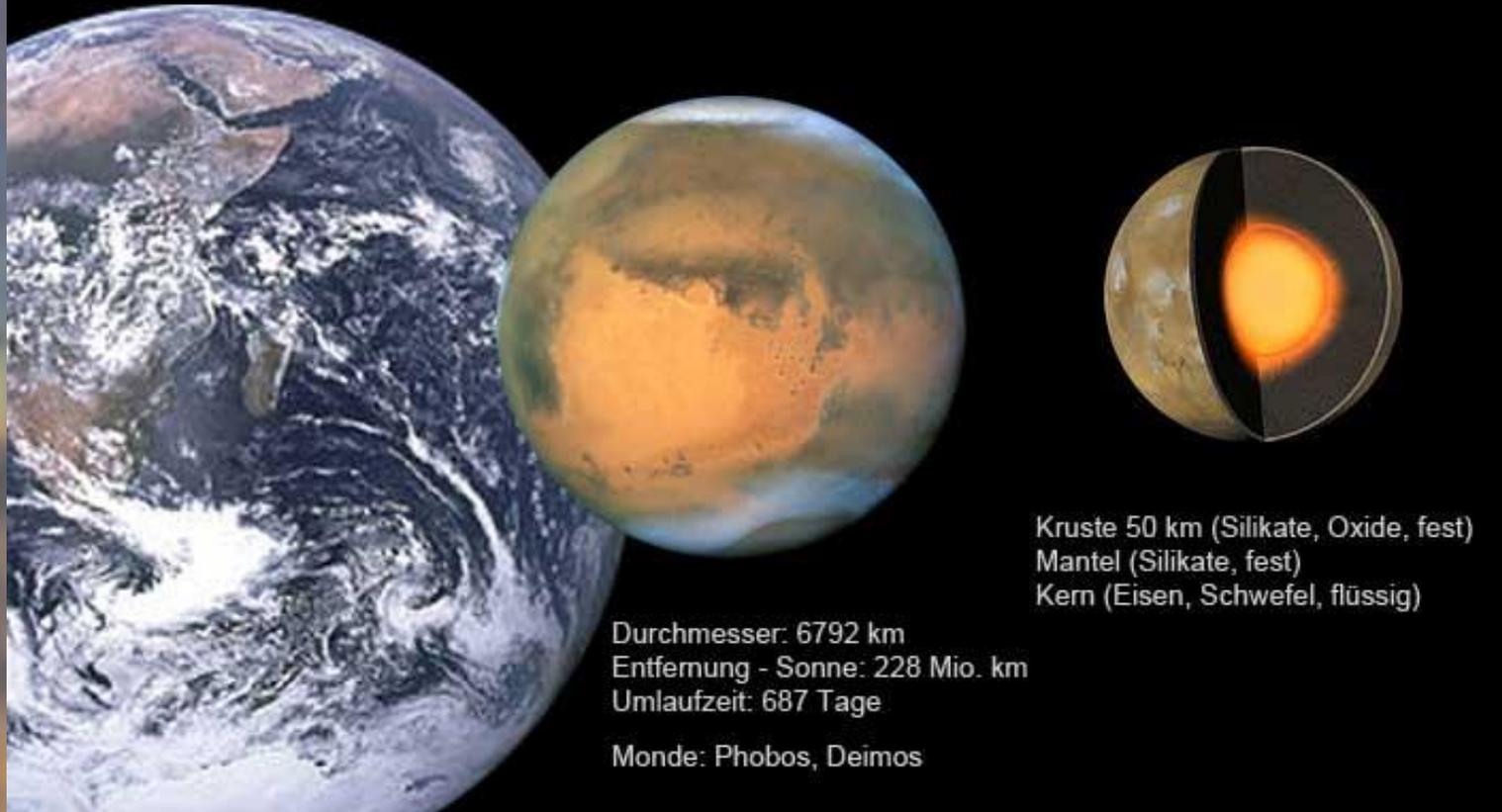
Kruste 35 km (Silikate, Oxide, fest)
Oberer Mantel 500 km (Silikate, Oxide)
Unterer Mantel 1500 km (Silikate, Oxide)
Äußerer Kern (Eisen)
Innerer Kern 1200 km (Eisen, Nickel)

Erde – schnelle Fakten

- Erdmasse $5,97 \times 10^{24}$ kg (1/330 000 Sonne)
- Befindet sich in der habitablen Zone
- Atmosphäre (1 bar) aus O₂ (21%) und N₂ (78%), Argon (<1%), Wasserdampf (-> Wasserkreislauf), Ozonschicht (-> UV-Schutz)
- Rotationsdauer 24 Std. -> Temperatenausgleich
- Mittlere Temperatur an Oberfläche: +15° C (aufgrund des Treibhauseffekts)
- Großes Wasservorkommen (ca. $\frac{3}{4}$ der Oberfläche ist von Ozeanen bedeckt)
- Es gibt aktiven Vulkanismus und andauernde Plattentektonik -> CO₂ Zyklus
- Achsneigung 23 $\frac{1}{2}$ °, -> Jahreszeiten
- Rotationsdauer 24 Std. -> Temperatenausgleich
- Magnetosphäre schützt vor Sonnenwind
- Umlaufperiode: 365,25 Tage
- Entfernung von der Sonne ca. 150 Mio. km (1 AE)
- Besitzt 1 verhältnismäßig großen Mond



MARS ♂

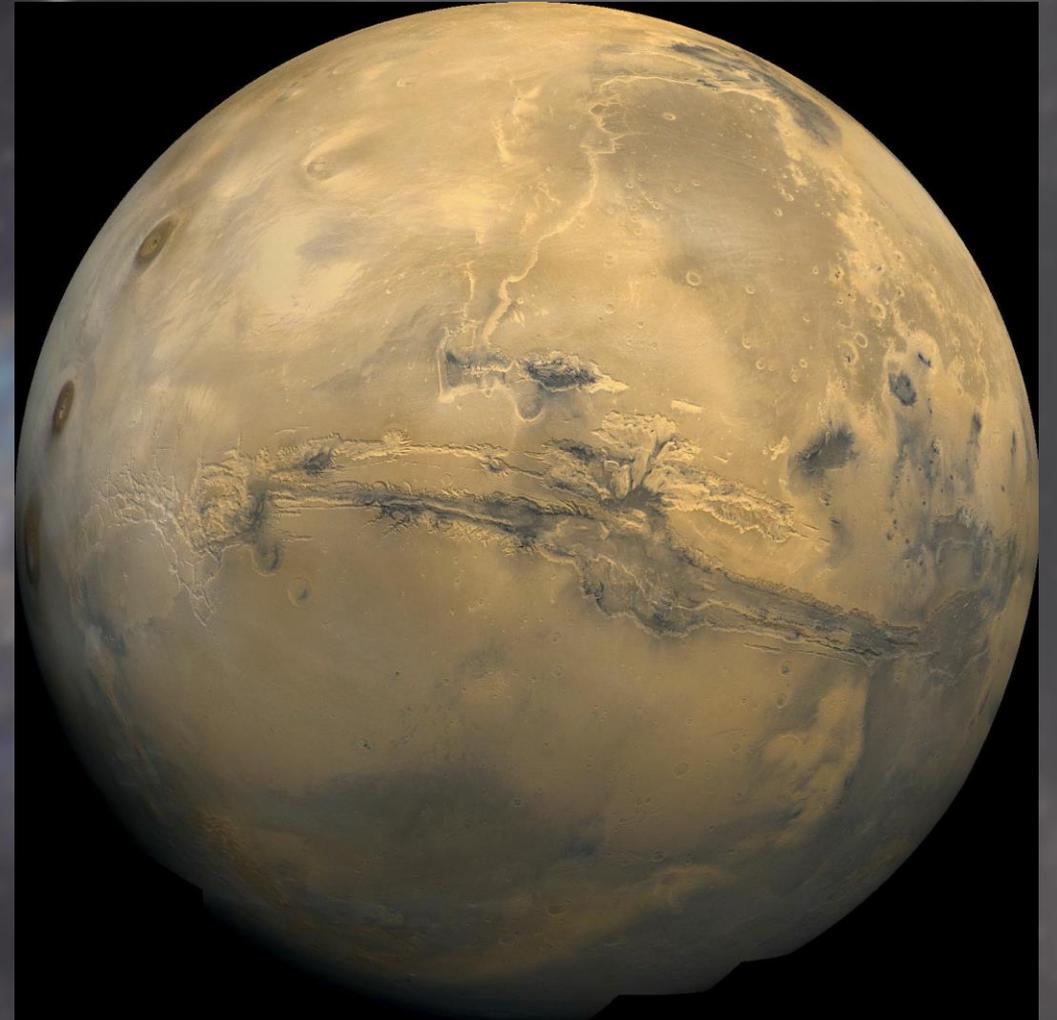


Durchmesser: 6792 km
Entfernung - Sonne: 228 Mio. km
Umlaufzeit: 687 Tage
Monde: Phobos, Deimos

Kruste 50 km (Silikate, Oxide, fest)
Mantel (Silikate, fest)
Kern (Eisen, Schwefel, flüssig)

Mars – schnelle Fakten

- Erdähnlichster Planet (+20 und -150° C)
- Ca. 1/10 der Erdmasse, halbe Erdgröße
- Dünne Atmosphäre (10 bar) aus CO₂ (96%) und N₂
- Besitzt großes Wasservorkommen (Permafrost)
- Besitzt höchste Vulkane und längste und tiefste Canyons
- Rotation: 24 Std. 40 Min (~ 1 Erdtag)
- Achsneigung ähnlich der Erde, -> Jahreszeiten
- Umlaufperiode: 687 Tage
- Entfernung von der Sonne ca 1,5 x Erde – Sonne
- Befindet sich am Rand der habitablen Zone
- Besitzt 2 Monde (Phobos und Deimos)

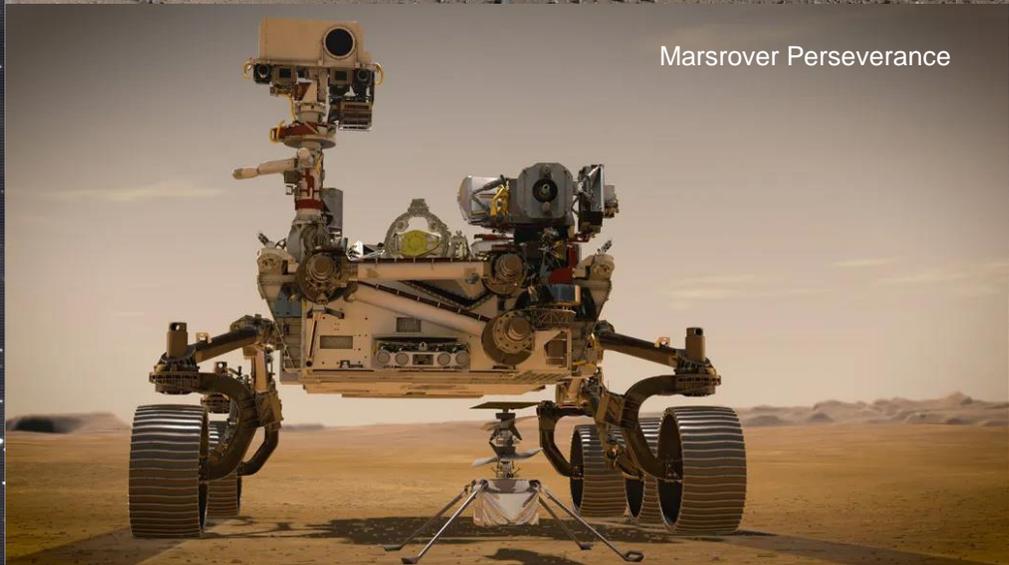




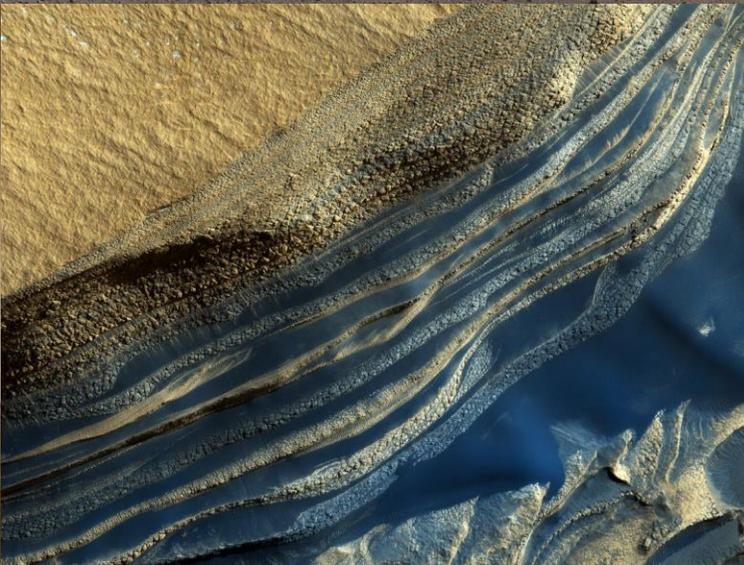
AZM



Ingenuity



Marsrover Perseverance

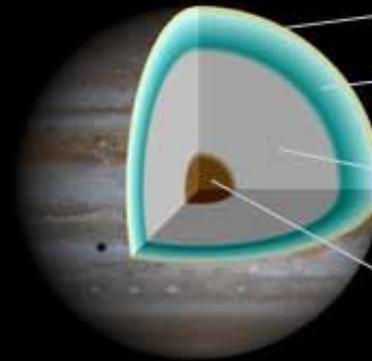


Olympus Mons

JUPITER ♃



Durchmesser: 143000 km (~11,2x Erde)
Entfernung - Sonne: 778 Mio. km
Umlaufzeit: 11,86 Jahre



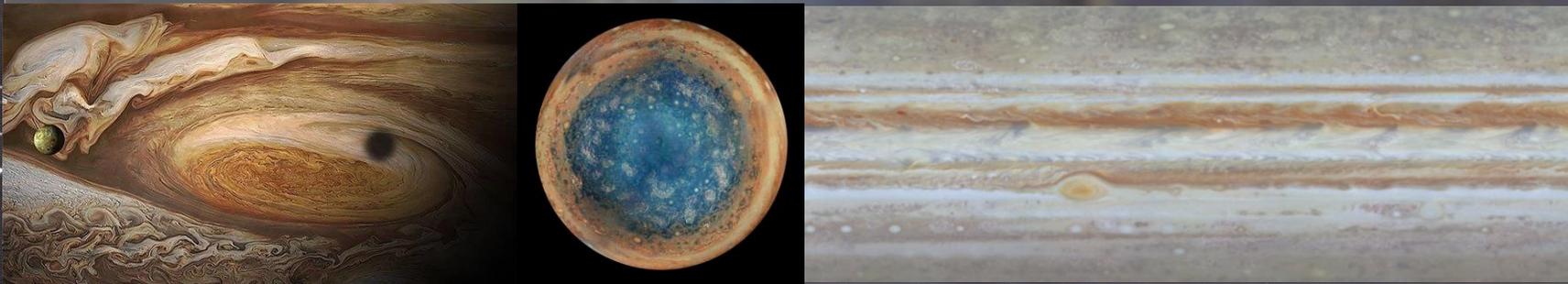
obere Atmosphäre
gasförmiger
Wasserstoff- und
Helium - Mantel
flüssiger
Wasserstoff- und
Helium - Mantel
Kern aus
Gerstein und Eis

90% Wasserstoff
10% Helium
0,3 % Methan
0,03 % Ammoniak

Hauptmonde:
Ganymed (5262km), Kallisto (4821km),
Io (3643 km), Europa (3122km)

Jupiter – schnelle Fakten

- Größter Planet des Sonnensystems. Durchmesser 143.000 km (11x Erde), mehr als doppelte Masse aller anderen Planeten zusammen (318 Erdmassen, 1/1.000 Sonne)
- Gasplanet ohne feste Oberfläche mit festem Kern aus metallischem Wasserstoff, Mantel aus Wasserstoff und Helium (90 % H, 10 % He)
- Aufbau ähnlich der Sonne, aber zu klein, um Stern oder Brauner Zwerg zu sein
- Strahlt mehr Wärme ab, als er von Sonne erhält
- Atmosphäre enthält Ammoniak und Methan formt Wolkenbänder und -zonen mit differentieller Rotation (Jetstream am Äquator über 300 km/h, Periode: 9 h 55 min)
- Großer Roter Fleck (Wirbelsturm - größer als die Erde und seit Jahrhunderten bestehend)
- Besitzt das stärkste Magnetfeld, hat ein Ringsystem ähnlich Saturn aber schwächer
- Wird von ca. 90 Monden, darunter die vier galileischen Monde, begleitet
- Stabilisiert Asteroidengürtel, viele davon folgen ihm als Trojaner
- Entfernung von der Sonne ca. 5 AE, ein Umlauf dauert etwa 12 Jahre

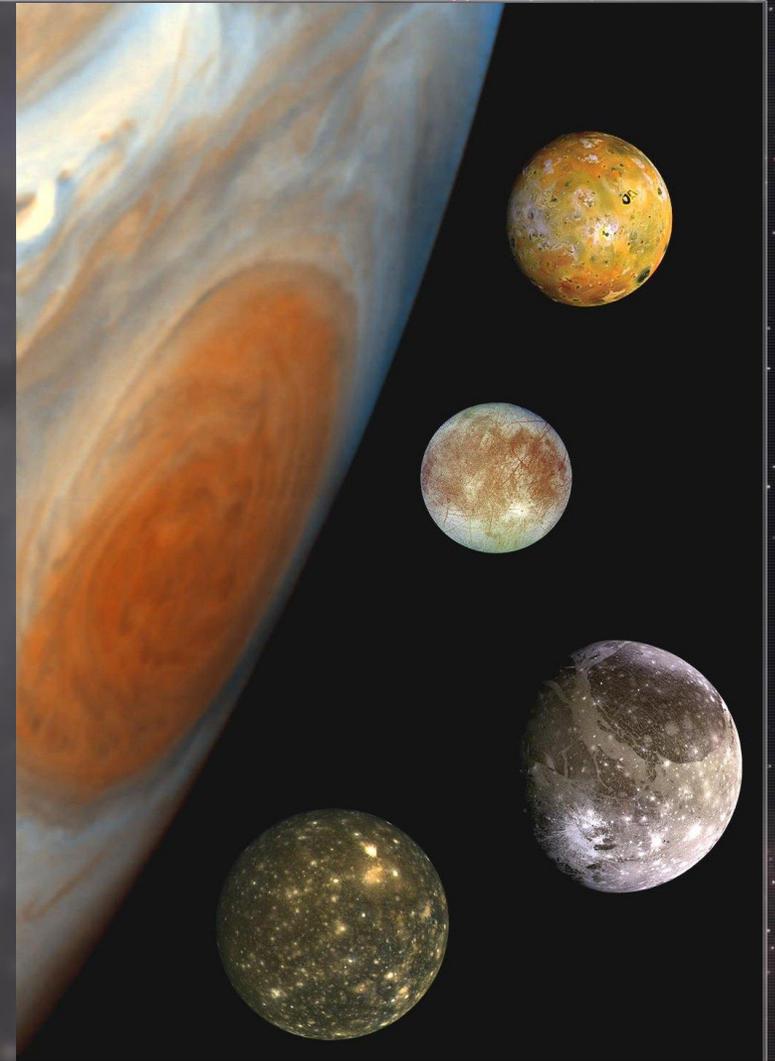


Jupitermonde – schnelle Fakten

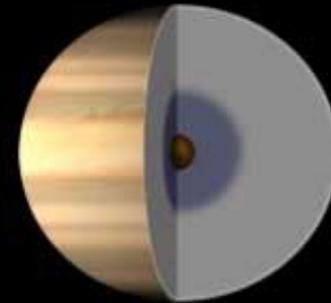
- Jupiter besitzt über 90 Monde, darunter die vier großen Galileischen Monde Io, Europa, Ganymed und Kallisto (von Galilei um 1600 entdeckt)
- Mond Io ist vulkanisch aktivster Mond (wird von Jupiter „durchgewalkt“)
- Europa enthält unter der gefrorenen Oberfläche einen ca. 100 km tiefen Ozean
- Ganymed ist größter Mond im Sonnensystem
- Kallisto hat die kraterreichste Oberfläche



| | |
|-----------|----------|
| Io: | 3.643 km |
| Europa: | 3.122 km |
| Ganymed: | 5.262 km |
| Kallisto: | 4.821 km |



SATURN ♄



- molekularer Wasserstoff
- metallischer (flüssiger) Wasserstoff
- Kern aus Gerstein und Eis

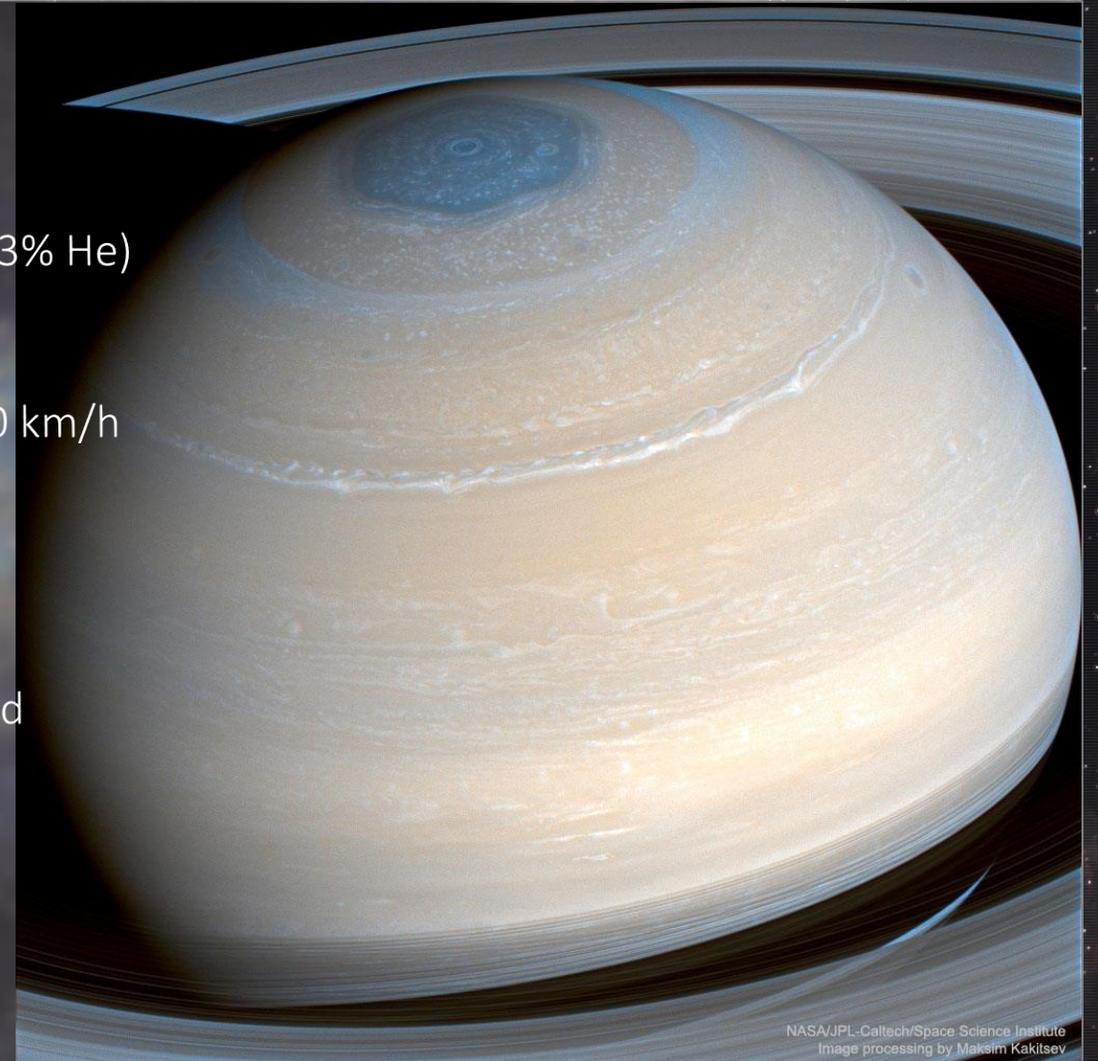
Durchmesser: 121000 km (~9,5x Erde)
Entfernung - Sonne: 1427 Mio. km
Umlaufzeit: 29,46 Jahre

Größter Mond: Titan (5.150 km)

96% Wasserstoff
3% Helium
0,5 % Methan
0,03 % Ammoniak

Saturn – schnelle Fakten

- Zweitgrößter Planet des Sonnensystems
- Gasplanet ohne feste Oberfläche (ähnlich Jupiter, 95% H, 3% He)
- Dichte geringer als Wasser
- Rotation: 10,5 h mit starker Abplattung
- Zeigt Wolkenbänder mit Windgeschwindigkeiten über 900 km/h
- Auffällige hexagonale „Polkappe“
- Ausgeprägtes Ringsystem aus Abermillionen zentimeter- bis metergroßen Eis-/Gesteinsbrocken
Ausdehnung bis 900.000 km, aber extrem dünn
vermutlich durch einen zerriebenen Mond entstanden und
nur etwa 10 – 100 Tausend Jahre Bestand



Saturnmonde – schnelle Fakten

Besitzt 146 Monde (Stand Mai 2023)

Größter Mond Titan ist zweitgrößter Mond im Sonnensystem (5.150 km)

Titan ist einziger Mond mit einer dichten Atmosphäre aus hauptsächlich Kohlendioxid

Titan hat ein aktives Wettergeschehen durch flüssiges Methan

Sonde Huygens ist 2005 auf dem Titan gelandet

Enceladus zeigt kryovulkanische Aktivität (schleudert Fontänen aus Wassereispartikeln aus)

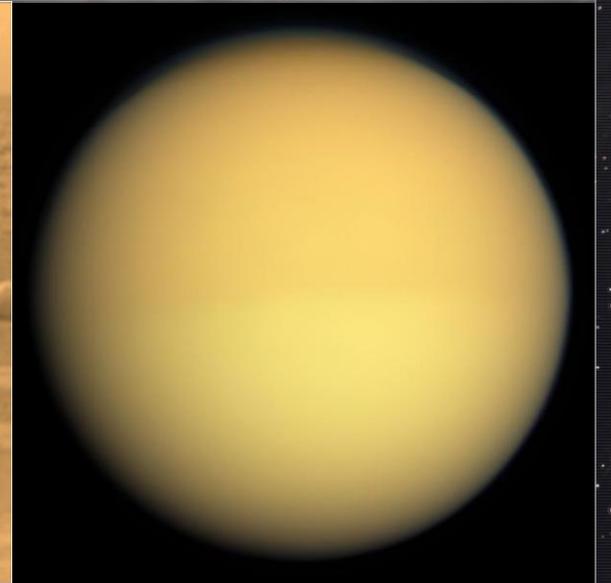
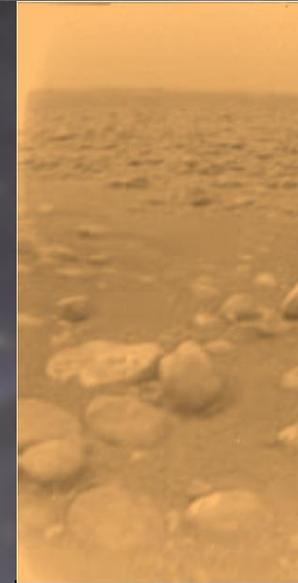
Unter der gefrorenen Oberfläche wird Ozean vermutet

Weitere Monde:

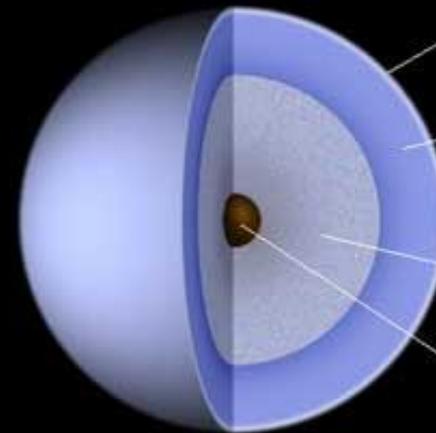
Mimas wurde bei Kollision fast zerrissen

Japetus hat dunkle und helle Seite

Weitere Monde Dione, Rhea und Thetis sind im Amateurteleskop sichtbar



URANUS ♅



Äußere Atmosphäre,
obere Wolkenschicht

Atmosphäre
(Wasserstoff, Helium,
Methangas)

Mantel
(Wasser, Ammoniak,
Methaneis)

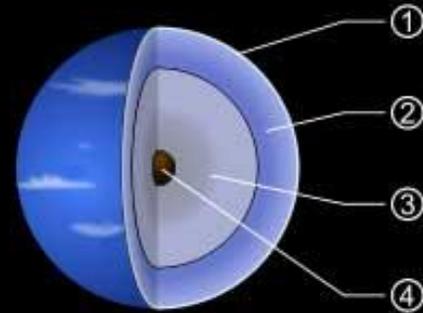
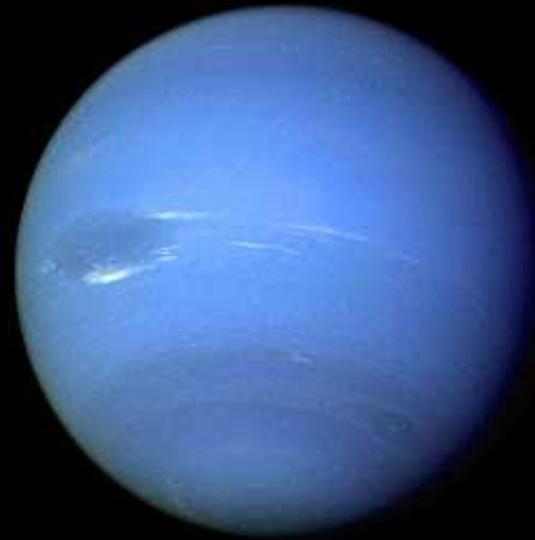
Kern
(Gestein, Eis)

Durchmesser: 51000 km (4x Erde)
Entfernung - Sonne: 2870 Mio. km
Umlaufzeit: 84 Jahre

Größter Mond: Titania (1.578 km)

83% Wasserstoff
15% Helium
2 % Methan

NEPTUN Ψ



1. Obere Atmosphäre, oberste Wolkenschicht
2. Atmosphäre (Wasserstoff, Helium, Methangas)
3. Mantel (Wasser, Ammoniak, Methaneis)
4. Kern (Fels, Eis)

Durchmesser: 49000 km (3,9x Erde)
Entfernung - Sonne: 4.498 Mio. km
Umlaufzeit: 165 Jahre

Größter Mond: Triton (2.707 km)

80% Wasserstoff
19% Helium
1,5 % Methan

Uranus & Neptun – schnelle Fakten

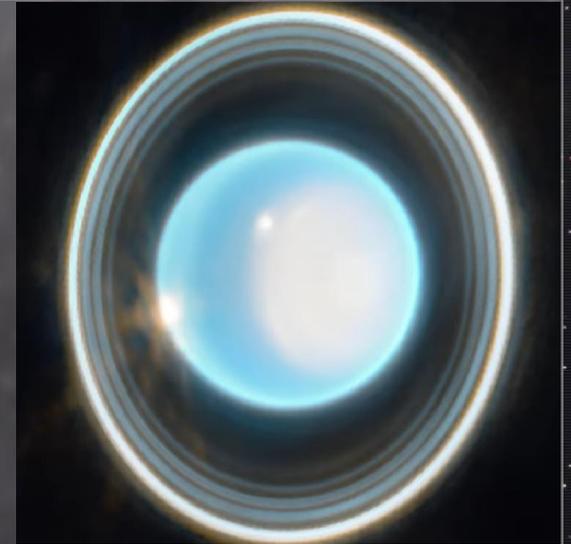
- Beide sind Gasplaneten mit festem Kern und Mantel aus Wasser-Ammoniak-Methan-Eis sowie einer dichten Atmosphäre aus Wasserstoff und Helium mit Spuren von Methan
- Ihre Größe beträgt etwa den 4fachen Erdradius
- Beide besitzen ein Ringsystem, bei Neptun äußerst schwach
- Rotationsdauer Uranus: 17 h, Neptun 16 h
- Umlaufzeiten: Uranus etwa 84 Jahre, Neptun etwa 165 Jahre

Besonderheiten Uranus:

- Achsneigung beträgt fast 100°
- Wurde von 1781 von W. Herschel mit einem Teleskop entdeckt
- Besitzt 28 Monde (größte Monde: Titania, Oberon, Ariel, Umbriel und Miranda)

Besonderheiten Neptun:

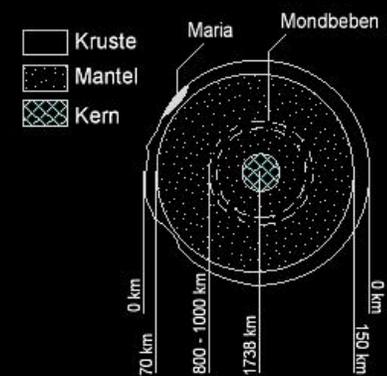
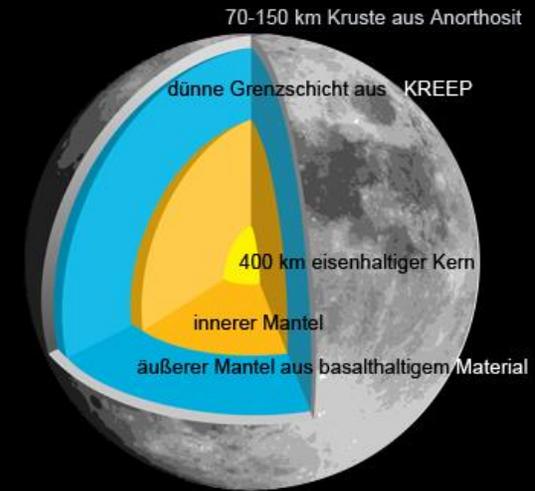
- Kältester Planet im Sonnensystem
- 1846 von J. Galle auf Grund von Berechnungen durch LeVerrier und Adams entdeckt
- Besitzt 16 Monde, darunter Triton (7. größter Mond im Sonnensystem)



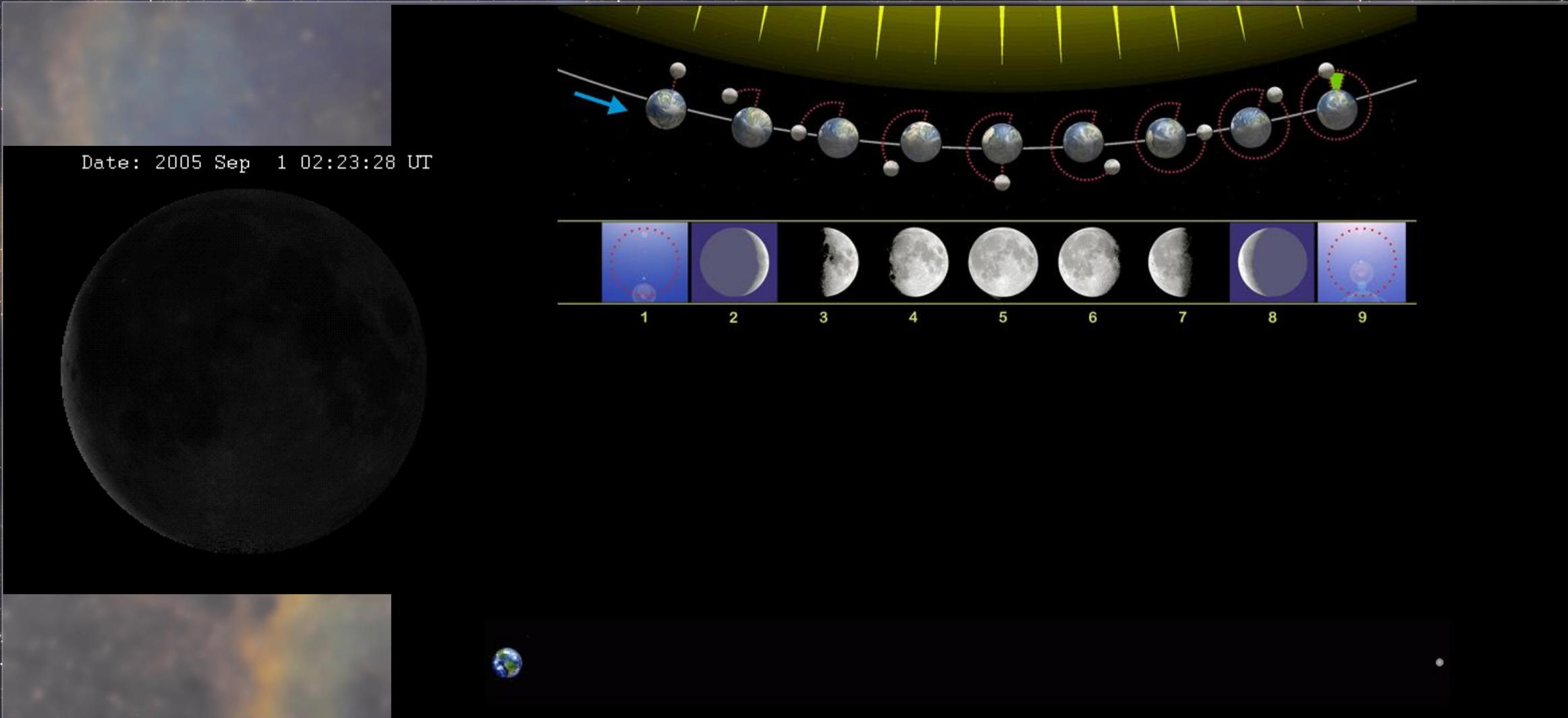


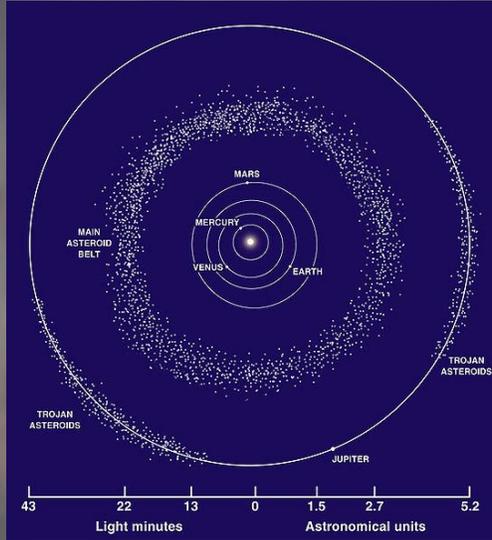
MOND ☾

Durchmesser: 3.476 km
 Masse: 1/81 Erdmasse
 Erde - Mond: 384.000 km (363.300 - 405.500 km)
 Umlaufzeit: 27,32 Tage (29,53 d synodisch)



Das Sonnensystem – Der Erdmond



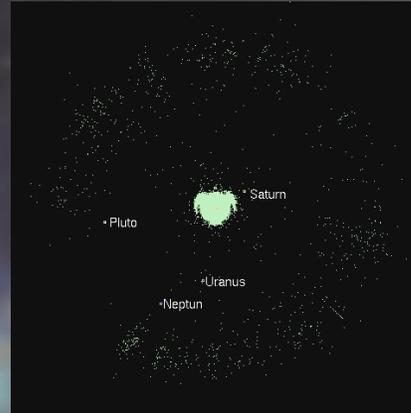


Asteroidengürtel und Trojaner



Ceres

Asteroiden- und Kuipergürtel



Pluto



Vesta

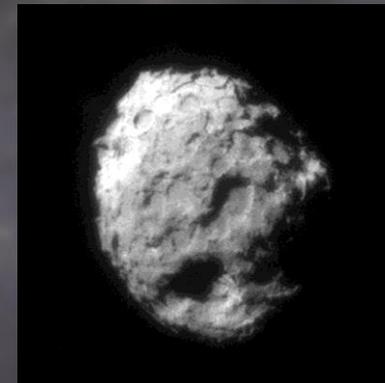
Die größten bekannten Trans-Neptunischen Objekte (TNOs)





Komet Hale-Bopp 1996

Wasser (80 %)
Kohlenmonoxid CO (10 %)
Methan, Ammoniak und andere Kohlenwasserstoffe
Cyan nur in geringen Spuren

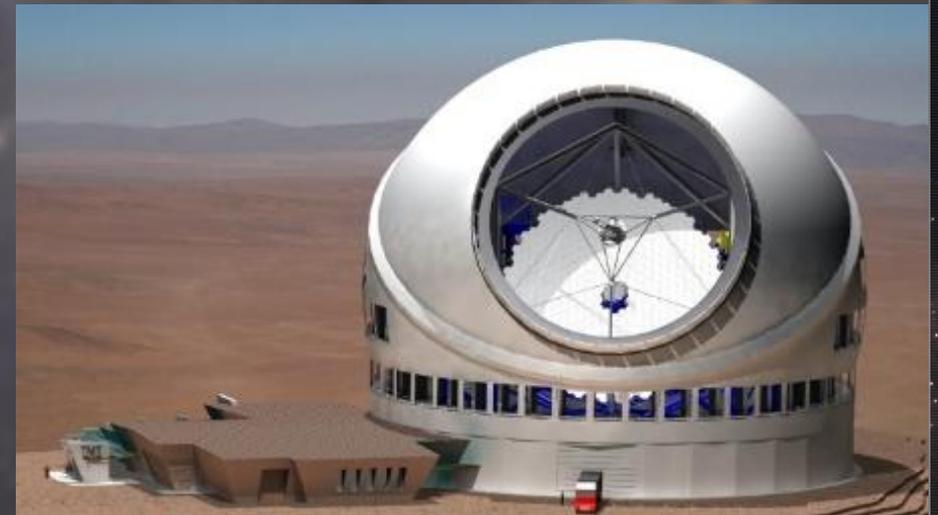
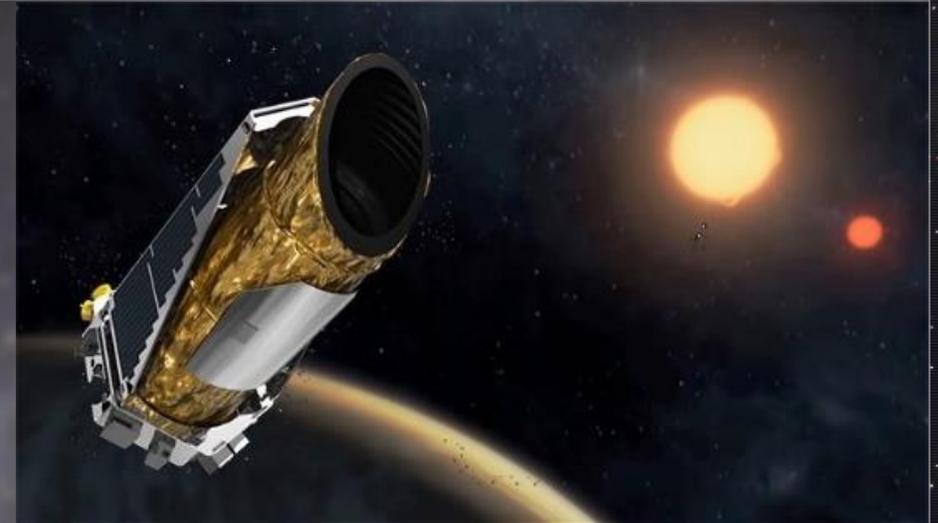


Kern des Kometen P/Wild

1. Grundlagenforschung
2. Verständnis der Entwicklung von Planetensystem und unseres eigenen Sonnensystems
3. Verständnis der Entwicklung von Planeten und deren Bedingungen und Einflußfaktoren
4. Anpassung und Verbesserung der Theorien
5. Rückschlüsse auf unsere Zukunft
6. Suche nach extraterrestrischem Lebens
7. Klärung der Frage nach außerirdischer Intelligenz

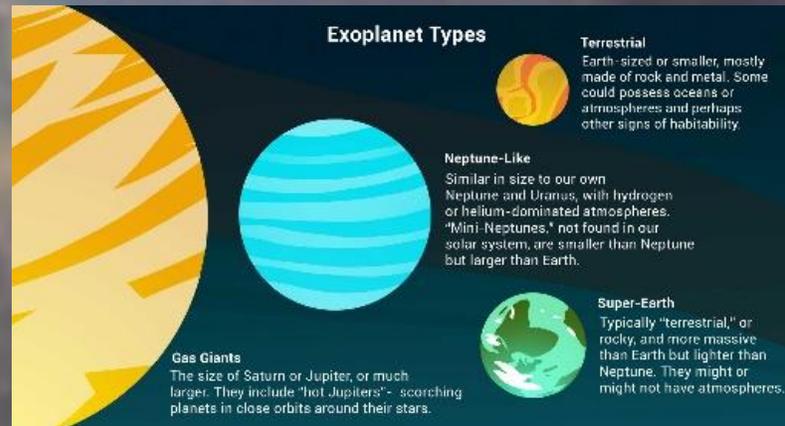
Methoden

- Radialgeschwindigkeitsmessung
- Transite und Bedeckungen
- Astrometrisches Verfahren
- Direkte Beobachtung
- Microlensing



Typen von Exoplaneten

Exoplaneten weisen eine Vielzahl unterschiedlicher Erscheinungsformen auf. Darunter solche, die in unserem Sonnensystem nicht existieren. ZB Supererden und „hot Jupiters“



Anzahl der Exoplaneten nach Typ

| | |
|--------------------------------|-----|
| Jupiterähnliche | 32% |
| Neptunähnliche | 34% |
| Super Erden und Minineptune | 30% |
| Gesteinsplaneten (erdähnliche) | 4% |

1. Große Gasplaneten ähnlich Jupiter und Saturn, teils erheblich größer und sehr oft in einer engen Umlaufbahn und sehr kurzer Umlaufperiode. Dadurch können sie extreme Temperaturen aufweisen (hot Jupiters). Sie können relativ leicht mit der Transit-methode entdeckt werden, entsprechend hoch ist ihre Entdeckungsrate.
2. Neptunähnliche Gasplaneten. Sie haben eine ähnliche Zusammensetzung (Wasserstoff, Helium). Dazu zählt auch die Unterklasse „Minineptune“, die kleiner als Neptun aber wesentlich größer als die Erde sind.
3. Super Erden. Sie kommen im Sonnensystem nicht vor, weisen ähnliche Dichten wie unsere Erde auf, erreichen aber wesentlich höhere Massen.
4. Terrestrische Planeten. Gesteinsplaneten wie unsere Erde, teils kleiner. Sie werden hauptsächlich im Umfeld roter Zwergsterne gefunden, wo ihre Signaturen leichter zu entdecken sind.

Einige Aussagen über Exoplaneten

Eine Auswertung der bisher entdeckten Exoplaneten, hauptsächlich aus den Daten der Kepler-Mission, ergibt folgendes Bild:

- In unserer Milchstraße beherbergt fast jeder Stern mindestens einen oder auch mehrere Planeten. Das sind somit viele Milliarden Planeten. Der Anteil erdähnlicher Planeten ist noch nicht endgültig bestimmt.
- Planeten können auch in Mehrfachsystemen vorkommen.
- Entstehung von Planetensystemen ist ein „normaler“ Prozess bei der Bildung neuer Sterne.
- Planetenformation geschieht in kürzerer Zeit als bislang angenommen.
- Planeten wurden nicht nur an ihrem ursprünglichen Entstehungsort gefunden. Es scheint eine häufige Migration außen gelegener Planeten zum Systemzentrum zu geben.
- Die gängigen Theorien zur Entstehung und Entwicklung von Planetensystemen dürften in den Grundzügen stimmen, benötigen aber eine Anpassung an die beobachteten Phänomene.
- Es bedarf einer Verfeinerung und Weiterentwicklung von Modellrechnungen, um einerseits beobachtete Bedingungen erklären zu können, andererseits um Vorgaben für die Entwicklung künftiger Instrumente und Missionen zu erstellen.

Fazit

Trotz der hohen Anzahl möglicher bewohnbarer Planeten wurde bislang keine Welt gefunden, die unserer Erde gleicht.

Ein Nachweis für Leben auf gefundenen habitablen Planeten ist noch nicht möglich. Es ist aber zu erwarten, dass Nachfolgeprojekte in den 2030er Jahren mit höher empfindlichen Geräten einen solchen Nachweis erbringen können.

